

## НАХОДКА ЦЕНТРА ИЗВЕРЖЕНИЯ БАЗАЛЬТОВ НА ВУЛКАНЕ ШИВЕЛУЧ

Т.Г. Чурикова<sup>1</sup>, Б.Н. Гордейчик<sup>2</sup>, А.Б. Белоусов<sup>3</sup>, А.Д. Бабанский<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, tchurikova@mail.ru

<sup>2</sup>Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, gordei@mail.ru

<sup>3</sup>Earth Observatory of Singapore, Singapore, belouovsasha@yahoo.com

<sup>4</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, baban@igem.ru

Вулкан Шивелуч, расположенный в северной части Центральной Камчатской депрессии, – один из самых активных и наиболее детально изученных вулканов Камчатки [в т.ч. Меняйлов, 1955; Мелекесцев и др., 1991; Певзнер, 1994; Волынец и др., 1997; Belousov et al., 1999; Ponomareva et al., 2007 и др.]. Вулкан начал формироваться 60-70 тыс. лет назад сначала как пирокластический, затем развивался как лавовый стратовулкан (Старый Шивелуч); современный эруптивный аппарат (Молодой Шивелуч) возник около 30 тыс. л.н. в крупной кальдере, открытой на юг.

Продукты извержений, как Старого, так и Молодого Шивелуча в основном представлены магнезиальными средне-калиевыми андезитами и андезибазальтами с  $\text{SiO}_2 \geq 55\%$ , базальты же и базальт-андезибазальты с  $\text{SiO}_2 \leq 54\%$  встречаются крайне редко [Мелекесцев и др., 1991; Волынец и др., 1997]. Поэтому всякие находки материала основного состава на этом вулкане представляют особый интерес. В голоценовых почвенно-пирокластических разрезах всех секторов подножия вулкана было отмечено всего два слоя тефры высокомагнезиальных базальтов, которые, согласно тефрохронологическим данным, имеют возраст 3600  $^{14}\text{C}$  лет и 7600  $^{14}\text{C}$  лет [Волынец и др., 1997; Ponomareva et al., 2007]. Продукты обоих извержений представлены мелкими лапилли и пеплами.

Тефры были детально изучены [Волынец и др. 1997], и по характеру их распространения и стратификации было сделано предположение, что центры обоих извержений располагались в прикратерной части постройки Молодого Шивелуча. Эти тефры схожи между собой по ряду минералогических и геохимических признаков: высокомагнезиальные темноцветные минералы близкого состава, высокий магнезиальный номер пород, а также высокие концентрации Cr и Ni. Тем не менее, они имеют и заметные различия: тефра извержения 7600  $^{14}\text{C}$  л.н. характеризуется обычным набором минералов –  $\text{Ol} + \text{Cpx} + \text{Pl}$  – и является средне-калиевой, в то время как тефра извержения 3600  $^{14}\text{C}$  л.н., кроме упомянутых минералов, содержит небольшие количества флогопита и амфибол, преобладающий в породе и составляющий 15-20% вкрапленников, она относится к высоко-калиевой серии и обогащена по Ba и Rb. Следует отметить, что в коренном залегании голоценовые базальты извержений как 3600  $^{14}\text{C}$  л.н., так и 7600  $^{14}\text{C}$  л.н., до сих пор обнаружены не были.



Рис. 1. обнажение пачки грубой базальтовой пирокластики в юго-западной части вулкана Шивелуч (правый борт реки Байдарной). Видны три слоя, чередующиеся со слоями тонких пеплов. Мощность нижнего слоя составляет 2-2,5 м.

Юго-западный сектор подножия Шивелуча (междуречье Карины и Байдарной) перекрыт лавовыми потоками андезибазальтового состава [Мелекесцев и др., 1991]. Они относительно слабо эродированы: у многих потоков сохранились первичные поверхности канатного типа, что свидетельствует об относительно молодом, возможно голоценовом возрасте этих отложений. В результате извержения вулкана Шивелуч в 2005 году, река Байдарная изменила русло и к настоящему времени прорезала глубокий и узкий каньон, огибая и размывая с юга Байдарный отрог. Во время полевых работ 2008 года в стенке нового каньона авторами была обнаружена мощная пачка пирокластики базальт-андезибазальтового (далее, для краткости – базальтового) состава. Видимая мощность отложений достигает 15 м. Пачка сложена ритмичным чередованием черно-серых слоёв средне-грубозернистых песков, гравия, лапилли и отдельных вулканических бомб с зеленовато-серыми слоями плохосортированных тонко-мелкозернистых вулканических пеплов (рис. 1).

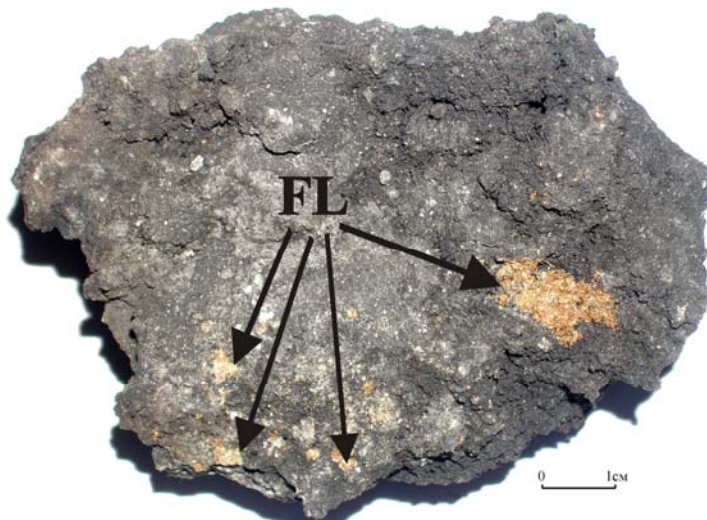


Рис. 2. Стяжения слюды в образце SHIV-08-04.

Самые крупные бомбы имеют поверхность типа «цветной капусты» и достигают 1 м в поперечнике; при падении они интенсивно деформировали слои нижележащей пирокластики. Нижние части пачки характеризуются большей мощностью слоев (0,5-3 м) и более грубым гранулометрическим составом. В верхней части пачки слои утончаются (первые десятки сантиметров) и представлены только мелкозернистыми вулканическими песками. Отложения пачки перекрыты голоценовым почвенно-пирокластическим чехлом мощностью до 2,5 м. Ледниковые или водноледниковые отложения в данном разрезе не обнаружены. Общее падение слоёв пирокластики на ЮВ под углом 10-20°. Вдоль обнажения этот угол несколько меняется, указывая на периклинальное падение от близкого центра извержения.

Макроскопически породы бомб и лапилли представлены тёмно-серым – угольно-чёрным средне-слабо вспененным шлако-лавовым материалом с явными признаками закалки. Среди вкрапленников отмечаются не частые, но крупные кристаллы зеленого, слегка молочного оливина. Характерной особенностью этих пород являются скопления слюды (предположительно, флогопита), которые формируют изометричные стяжения размером от нескольких миллиметров до 2 см в диаметре (рис. 2). Слюда представлена мелкозернистым агрегатом буровато-золотистого цвета, при этом размер отдельных чешуек не превышает 1-1,5 мм. Слюдистые стяжения расположены в пустотах породы, в петрографических шлифах обнаружить флогопит не удалось.

Петрографически породы сходны с тефрой извержения 7600 <sup>14</sup>C л.н. описанной ранее [Волынец и др., 1997]. Среди вкрапленников

Образец	SHIV-08-01	SHIV-08-04	SHIV-08-05
Широта, N	56°33'57,1"	56°33'59,5"	56°34'0,5"
Долгота, E	161°7'24,9"	161°7'35,2"	161°7'38,4"
Высота, м	303	312	312
SiO <sub>2</sub>	53,74	53,27	52,62
TiO <sub>2</sub>	0,79	0,81	0,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,78	15,44	16,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,97	9,33	8,95
MnO	0,13	0,14	0,13
MgO	8,01	8,45	8,3
CaO	7,98	8,15	8,15
Na <sub>2</sub> O	3,58	3,4	3,85
K <sub>2</sub> O	0,92	0,89	0,89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	0,11	0,15
Сумма	100,01	99,99	99,98
V	177	202	190
Cr	521	552	550
Ni	176	185	181
Ba	310	326	265
Rb	15	18	15
Sr	406	393	404
Y	16	17	16
Zr	99	95	98

Таблица 1. Содержания макро- (масс. %) и некоторых микроэлементов (ppm) в изученных образцах (метод РФА, ИГЕМ РАН).

наблюдаются кристаллы оливина (около 10%) размером 2-8 мм и клинопироксена (3-4%) размером до 0,5 мм. Оба минерала присутствуют как в виде отдельных хорошо ограненных зерен, так и в виде сростков. В зернах оливина, реже в зернах пироксена, присутствуют кристаллы шпинели размером до 0,05 мм. Плаггиоклаз встречается в виде редких субфенокристаллов и обильно – в основной массе, представлен тонкими вытянутыми кристаллами игольчатой и таблитчатой формы. Основная масса в различных образцах меняется от слабо раскристаллизованной, представленной прозрачным бурым стеклом, до хорошо раскристаллизованной и сложенной кристаллами оливина, пироксена, плаггиоклаза и магнетита.

В образце SHIV-08-04 был обнаружен ксенолит метаморфизованного амфиболового сланца зелено-серого цвета размером 4×2 см, а в шлифе образца SHIV-08-05 было найдено идиоморфное зерно кварца размером 1 мм, окружённое мощной реакционной каймой, выполненной мелкокристаллическим клинопироксеновым агрегатом. Наличие ксенолита сланца и неравновесного кварца в продуктах извержения свидетельствует о захвате корового материала в процессе извержения обнаруженных базальтов.

Химический состав пород приведен в таблице 1 и на рисунке 3. На диаграмме Харкера три исследованных образца ложатся в поле тефры извержения 7600 <sup>14</sup>С л.н. При более детальном анализе обнаруживается, что содержания Mg<sub>2</sub>O, Cr, V и Mg# (64-65 в сравнении с 68-73 в тефрах) в них несколько ниже, а Na<sub>2</sub>O и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> несколько выше, чем в образцах извержения 7600 <sup>14</sup>С л.н. Учитывая тот факт, что ранее для изучения извержения 7600 <sup>14</sup>С л.н. была доступна только мелкозернистая тефра [Волынец и др., 1997; Ронотарева et al., 2007], можно объяснить эти отклонения золовой

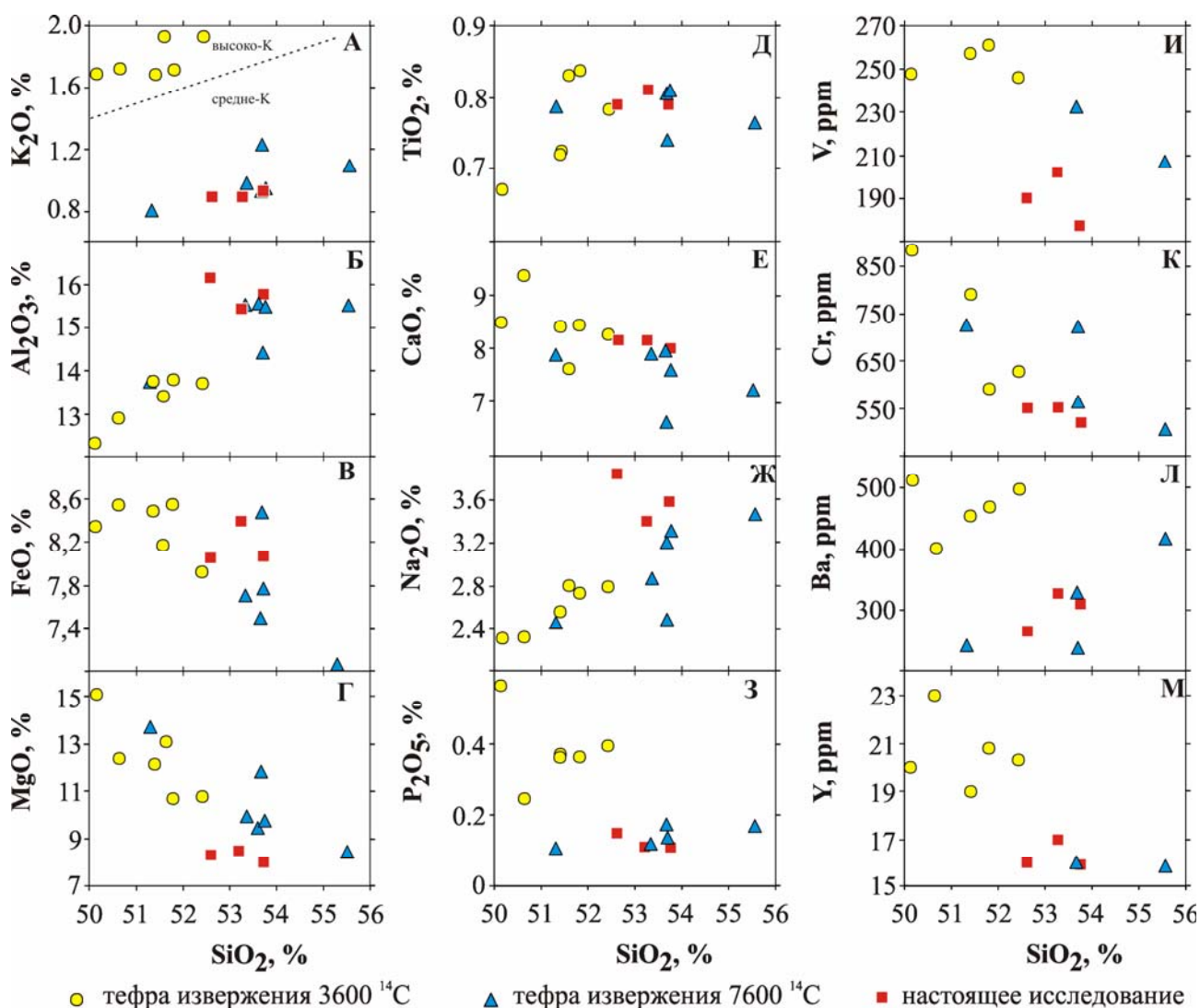


Рис. 3. Зависимость содержания макро- и микроэлементов от кремнезема в тефре извержений 3600 и 7600 <sup>14</sup>С л.н. [Ронотарева et al., 2007], а также в найденных коренных базальтах.

дифференциацией – обогащением тефры темноцветными минералами при выпадении из пепловой тучи. В целом, обнаруженные нами породы, также как и тефра извержения 7600 <sup>14</sup>С л.н., систематически отличаются от тефры извержения 3600 <sup>14</sup>С л.н., показывая более низкие значения по K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ba, V, Sr, а также Y (Рис. 3).

Кроме того, отношения Rb/Sr (0,04-0,05) и Ba/Sr (0,66-0,83) в исследованных породах близки этим отношениям в тефре 7600 <sup>14</sup>С л.н. (соответственно: 0,04-0,05 и 0,73-0,89) и заметно ниже, чем в тефре 3600 <sup>14</sup>С л.н. (соответственно: 0,06-0,08 и 0,89-1,11). Sr/Y отношение в изучаемых образцах составляет 23-25, что близко как к аналогичным значениям в тефре 7600 <sup>14</sup>С л.н. (24,4-29,4 [Ponomareva et al., 2007]), так и в тефре 3600 <sup>14</sup>С л.н. (16,1-25,6 [Волынец и др., 1997; Ponomareva et al., 2007]). Sr/Y в базальтовых и андезибазальтовых лавах вулкана Шивелуч изменяется от 21 до 40 при среднем значении 30 (по данным 16 определений из [Churikova et al., 2001; Yagodzinski et al., 2001]). Несмотря на то, что Sr/Y отношение в исследованных породах ниже среднего и близко к наименьшим значениям для этого вулкана, оно заметно выше, чем средние значения отношения для базальтов и андезибазальтов Восточного вулканического фронта (13 по 31 определению из [Churikova et al., 2001]) и Ключевской группы (14,7 по 183 определениям из [Churikova et al., 2001; Yagodzinski et al., 2001]). Как предполагается в работе [Yagodzinski et al., 2001], повышенное отношение Sr/Y может свидетельствовать о добавке адакитового компонента в основных расплавах вулкана Шивелуч.

Обнаруженные породы по минералогическим особенностям (О1-Срх-Р1 парагенезис, отсутствие амфибола) и особенностям химического состава – как по макро- так и по микроэлементам и их отношениям (рис. 3) – близки к тефре извержения 7600 <sup>14</sup>С л.н. Преобладание в изученных нами отложениях крупной (до 1 м) пирокластики указывает на близость данного разреза к эруптивному центру. Отсутствие же ледниковых и водноледниковых отложений в разрезе свидетельствует о голоценовом возрасте рассматриваемых пород.

На основании вышеперечисленного допустимо предположить, что найденные базальты являются центром извержения 7600 <sup>14</sup>С л.н. Этот побочный эруптивный аппарат расположен не в прикратерной части постройки Молодого Шивелуча, как считалось ранее [Волынец и др., 1997], а на юго-восточном склоне вулкана, на водоразделе рек Карины и Байдарной. Тем не менее, необходимы более детальные тефрохронологические, минералогические и микрохимические исследования, чтобы проверить это предположение.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 08-05-00600 и № 10-05-01122.

#### Список литературы

**Волынец О.Н., Пономарева В.В., Бабанский А.Д.** Магнезиальные базальты андезитового вулкана Шивелуч // Петрология, 1997, т. 5, № 2. С. 206-221.

**Мелекесцев И.В., Волынец О.Н., Ермаков В.А., Кирсанова Т.П., Масуренков Ю.П.** Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. М., Наука, 1991, т. 1. С. 84-92.

**Меняйлов А.А.** Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Труды лаборатории вулканологии АН СССР, 1955, вып. 9. 234 с.

**Певзнер М.М.** История эруптивной деятельности вулкана Шивелуч в голоцене (по данным радиоуглеродного датирования). Автореферат дисс. ...к.г.-м.н. М., ГИН РАН, 1994. 19 с.

**Belousov A., Belousova M., Voight B.** Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in the Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia // Bulletin of Volcanology, 1999, vol. 61. P. 324-342.

**Churikova T., Dorendorf F., Wörner G.** Sources and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation // Journal of Petrology, 2001, vol. 42, N 8. P. 1567-1593.

**Ponomareva V.V., Kyle P.R., Pevzner M.M., Sulerzhitsky L.D., Hartman M.** Holocene eruptive history of Shiveluch volcano. Kamchatka Peninsula // Volcanism and subduction: the Kamchatka region / Eichelberger J., Gordeev E., Kasahara M., Izbekov P., Lees J. (editors) Geophysical Monograph Series, vol. 172. Washington, DC: American Geophysical Union, 2007. P. 263-282.

**Yagodzinski G.M., Lees J.M., Churikova T.G., Dorendorf F., Wörner G., Volynets O. N.** Geochemical evidence for the melting of subducting oceanic lithosphere at plate edges // Nature, 2001, vol. 409. P. 500-504.